

## EXAM PROCEDURE AND LIST OF QUESTIONS

### MECA0527: ELECTRIC, HYBRID, AND FUEL CELL VEHICLES

P. DUYSINX

Academic Year 2021-2022

**(Version of 08/12/2021)**

#### Oral examination procedure of January 2022:

%%% ENGLISH VERSION %%%

The examination consists of:

- a. Part One: Theory
  - i. One question of theory from the above list (One page preparation per question / 5 minutes max for preparation / 15 minutes for presentation)
  - ii. General knowledge sub-questions reviewing the different concepts of the course (closed book and no preparation / 5 minutes)
- b. Second part: Project. The debriefing of the project on the performance assessment of an electric vehicle (5 minutes of discussion)

#### **Part 1: Theory part (maximum 25 minutes)**

Given the sanitary conditions, the exam will take place in hybrid mode. In presence mode for the exam is the preferred option, but remote examination using visio conference is possible in case of quarantine or equivalent conditions. Visio conference will take place on the TEAMS platform.

An appointment schedule will be established. A slot of 30 minutes is allocated to each student. A list of questions based on the material seen during the course is proposed.

**Questions 41 to 46 in red have been removed from the questions of the exam of January 2022.**

The student draws randomly one question from the list. Five minutes will be allotted to prepare the answers. The students will present his/her question for 15 minutes maximum.

The students have to prepare remotely an outline of his/her answers to the different questions. The answer outline is limited to a maximum of one handwritten page per question. Each answer outline will be prepared on a separate sheet. The outline can contain diagrams, equations, or any other material necessary to support the discussion. Before the exam, the student will make a PDF scan of his or her preparations (only PDF format is accepted; the quality must be correct and the document readable). If the exam is conducted in person, the student will be asked to show his/her preparation on a projector or large screen in order to maintain social distance. If the exam is done using visio conference, the exam will be done on the TEAMS platform and the student will share his/her document via the appropriate function.

After the presentation of the question, the professor will ask sub-questions on all the material seen in the course and in the labs. No preparation documents are accepted for this part. For the answers to the sub-questions, there is no preparation time.

During the oral exam, students must demonstrate a thorough understanding of the topics covered in each question. They should be able to explain the proofs of the conjectures. At the end of the presentation of the prepared question, the examiners start discussing and asking sub-questions about the presented topic as well as asking short questions assessing the student's general knowledge of the course material as a whole (no notes can be used during this part of the exam).

## **Part 2: Project part (maximum 5 minutes)**

Finally, the exam includes a discussion of the work done during the year (5 minutes). No preparation is required for this part.

Students have completed a computer-based assignment in groups of two or three. They will submit a written report that will be evaluated by the professor. A feedback discussion about the work will be performed during the oral exam. No preparation is necessary.

**Link for the visio TEAMS (if necessary)**

## Réunion Microsoft Teams

**Rejoindre sur votre ordinateur ou application mobile**

[Cliquez ici pour participer à la réunion](#)



Université de Liège

[Pour en savoir plus](#) | [Aide](#) | [Options de réunion](#) | [Légal](#)

%%% VERSION FRANCAISE %%%

Procédure d'examen oral de janvier 2020 :

L'examen consiste en :

1. Première partie : Théorie (maximum 25 minutes)
  - i. Une question de théorie parmi la liste ci-dessus (préparation d'une page par question / 5 minutes maximum pour la préparation / 15 minutes pour la présentation)
  - ii. Des sous-questions de connaissances générales passant en revue les différents concepts du cours (livre fermé et pas de préparation / 5 minutes)

2. Deuxième partie : le débriefing du projet sur l'évaluation des performances d'un véhicule électrique (5 minutes de discussion)

### **Partie 1 : Théorie (max 25 minutes)**

Partie 1 : Partie théorique (25 minutes maximum)

Compte tenu des conditions sanitaires, l'examen se déroulera en mode hybride. Le mode en présence pour l'examen est l'option préférée, mais l'examen à distance par visio conférence est possible en cas de quarantaine ou de conditions équivalentes. La visio conférence aura lieu sur la plateforme TEAMS.

Un calendrier de rendez-vous sera établi. Un créneau de 30 minutes est attribué à chaque étudiant. Une liste de questions basées sur le matériel vu pendant le cours est proposée.

**Les questions 41 à 46 en rouge ont été retirées des questions de l'examen de janvier 2022.**

L'étudiant tire au sort une question de la liste. Cinq minutes seront allouées pour préparer les réponses. L'étudiant présente sa question pendant 15 minutes maximum.

L'étudiant doit préparer à la maison un plan de ses réponses aux différentes questions. Le plan de réponse est limité à une page manuscrite maximum par question. Chaque plan de réponse sera préparé sur une feuille séparée. Le plan peut contenir des diagrammes, des équations ou tout autre élément nécessaire à la discussion. Avant l'examen, l'étudiant fera un scan PDF de ses préparations (seul le format PDF est accepté ; la qualité doit être correcte et le document lisible). Si l'examen se déroule en personne, il sera demandé à l'étudiant de montrer sa préparation sur un projecteur ou un grand écran afin de maintenir une distance sociale. Si l'examen se fait par visio conférence, l'examen se fera sur la plateforme TEAMS et l'étudiant partagera son document via la fonction appropriée.

Après la présentation de la question, le professeur posera des sous-questions sur toute la matière vue au cours et dans les laboratoires. Aucun document de préparation n'est accepté pour cette partie. Pour les réponses aux sous-questions, il n'y a pas de temps de préparation.

Lors de l'examen oral, les élèves doivent démontrer une compréhension approfondie des sujets abordés dans chaque question. Ils doivent être capables d'expliquer les preuves des conjectures. À la fin de la présentation de la question préparée, les examinateurs commencent à discuter et à poser des sous-questions sur le sujet présenté ainsi que des questions courtes évaluant les connaissances générales de l'étudiant sur l'ensemble de la matière du cours (aucune note ne peut être utilisée pendant cette partie de l'examen).

### **Partie 2 : projet (max 5 minutes)**

Enfin, l'examen comprend une discussion sur le travail effectué pendant l'année (5 minutes). Aucune préparation n'est requise pour cette partie.

Les élèves ont effectué un travail sur ordinateur par groupes de deux ou trois. Ils soumettront un rapport écrit qui sera évalué par le professeur. Une discussion de feedback sur le travail sera effectuée lors de l'examen oral. Aucune préparation n'est nécessaire.

---

### **Question List:**

1. What are the ideal characteristics of a vehicle powertrain? Which propulsion systems best satisfy them? How can we justify the dominant choice of piston engine at the present time? [*Quelles sont les caractéristiques idéales d'un système de motorisation d'un véhicule ? Quels sont les systèmes de propulsion qui les satisfont le mieux ? Comment peut-on justifier le choix dominant à l'heure actuelle du moteur à piston ?*]
2. Alternative propulsion systems that could replace piston engines. Discuss the cases of combustion engines (steam engine, Stirling engine, gas turbine, rotary piston engine) What are their respective advantages and disadvantages? [*Motorisations alternatives pouvant se substituer aux moteurs à pistons. Discuter le cas des moteurs thermiques (moteur à vapeur, moteur Stirling, turbine à gaz, moteur à pistons rotatifs) Quels sont leurs avantages et inconvénients respectifs ?*].
3. The internal combustion engine as a propulsion system: Working principles of 4-stroke, 2-stroke and rotary piston (Wankel) engines. Piston engine performance, mean effective pressure, characteristic curves, specific energy consumption and emissions. Emission control. CNG/LNG engines. [*Le moteur à combustion interne comme système de propulsion : Principes de fonctionnement des moteurs à 4 temps, à 2 temps et à piston rotatif (Wankel). Performances des moteurs à pistons, pression effective moyenne, courbes caractéristiques, consommation d'énergie et émissions spécifiques. Contrôle des émissions. Moteurs au gaz naturel*].
4. Alternative propulsion systems that could replace piston engines? Discuss the question of motorizations based on air compressed engines and battery electric vehicles. What are their respective advantages and disadvantages? [*Motorisations alternatives pouvant se substituer aux moteurs à pistons. En particulier discuter la question des motorisations à l'air comprimé ou les véhicules électriques à batteries. Quels sont leurs avantages et inconvénients respectifs ?*].
5. Alternative propulsion systems that could replace piston engines? Discuss the question of motorizations based on electric machines (EV, HEV, fuel cell). What are their respective advantages and disadvantages? [*Motorisations alternatives pouvant se substituer aux moteurs à pistons. En particulier discuter la question des motorisations basées sur les machines électriques (EV, HEV, pile à combustible). Quels sont leurs avantages et inconvénients respectifs ?*].

6. What are the main transmission components found in road vehicles equipped with internal combustion engines? Describe their general characteristics and their performance curves? [*Quels sont les principaux éléments de transmission rencontrés dans les véhicules routiers équipés de moteur à combustion interne ? Décrivez leurs caractéristiques générales et leurs courbes de performances ?]*
7. What are the possible architectures offered by electric powertrains? Provide an overview of the basic subsystems and components of an electric drive train. Compare centralized and distributed powertrains and the motor-wheel concept. Discuss the need to introduce mechanical systems such as clutches, gearboxes or differentials. [*Quels sont les différentes architectures possibles offertes par les chaînes de traction électriques ? Dressez une synthèse des sous-systèmes et composants de base d'une chaîne de traction électrique. Comparez les chaînes de traction centralisées et réparties et le concept de moteur-roue. Discutez la nécessité d'introduire des systèmes mécaniques tels que les embrayages, boîte de vitesse ou différentiel.*]
8. Define a hybrid vehicle. What are the major architectures of the propulsion system of a hybrid vehicle? Describe the series, parallel, complex hybrid vehicle architectures as well as torque or speed additive coupling technologies. [*Définissez la notion de véhicule hybride. Quelles sont les grandes architectures possibles du système de propulsion d'un véhicule hybride ? Décrivez les architectures série, parallèle, complexe de véhicules hybrides ainsi que les technologies de couplages par addition de couple ou de vitesse.*]
9. The internal combustion engine: Concept of mean effective pressure, characteristic curves, standards. Define the standardization of performance and the effect of atmospheric conditions and consumption of accessories. [*Le moteur à combustion interne : Notion de pression moyenne effective, courbes caractéristiques, normes. Définissez la normalisation des performances et l'effet des conditions atmosphériques et de la consommation des accessoires.*]
10. For a given internal combustion engine, how can an adjustment of the power and torque curves be made for a minimum number of given parameters (maximum power, maximum torque)? [*Pour un moteur à combustion interne donné, comment peut-on réaliser un ajustement des courbes de puissance et de couple dans le cas d'un nombre minimum de paramètres (puissance maximale, couple maximal) ?]*
11. Give the idealized characteristic curves of an electric motor / generator. Discuss the operation and the technology of DC electric motors and their power electronics.

Distinguish between continuous and intermittent values. [*Donnez les courbes caractéristiques idéalisées d'un moteur / génératrice électrique. Discutez différentes le fonctionnement et la technologie des moteurs électriques DC et de leur électronique de puissance. Distinguez les valeurs en régime continu et intermittent.*]

12. Give the idealized characteristic curves of an electric motor / generator. Discuss the different technologies of AC electric motors (Induction, PM, SR) and their power electronics. Distinguish between continuous and intermittent values. [*Donnez les courbes caractéristiques idéalisées d'un moteur / génératrice électrique. Discutez différentes les différentes technologies de moteurs électriques AC (Asynchrone, synchrone à aimants permanent, SR) et de leur électronique de puissance. Distinguez les valeurs en régime continu et intermittent.*]
13. Establish the expressions of the road speed, tractive force and power in terms of road speed for a vehicle propelled by a piston engine and electric motors. [*Etablissez les expressions de la vitesse, de la puissance et de l'effort de traction aux roues en fonction de la vitesse d'avance pour un véhicule équipé d'un moteur thermique ou d'un moteur électrique.*]
14. For a given vehicle, describe and quantify the road resistance forces. Give the generic expression of the road resistance forces in terms of the vehicle speed. [*Pour un véhicule donné, décrivez et caractérisez les forces de résistance à l'avancement. Donnez l'expression générale des forces de résistance à l'avancement d'un véhicule en fonction de la vitesse.*]
15. Investigate the questions of top speed for a given vehicle. Study the questions of the greatest max speed and of the maximum speed for a given reduction ration. Discuss the selection of the last gear ratio. [*Etudiez les problématiques liés à la vitesse maximale d'un véhicule. Etablissez la plus grande vitesse maximale et la vitesse maximale pour un rapport de réduction donné. Discutez le choix du dernier rapport de boîte.*]
16. Investigate the question of the maximum grading slope. Discuss the choice of the first gear ratio. [*Problématique de la pente maximale franchissable par un véhicule. Choix du premier rapport de boîte.*]
17. What are the usual performance indices in acceleration? Introduce the concept of effective mass in acceleration. Establish the motion equation of the vehicle. [*Critères de performance en accélération et en reprise. Introduisez la notion de masse*

*équivalente d'un véhicule en accélération. Énoncez la loi du mouvement d'un véhicule].*

18. Acceleration performance criteria. Derive the procedure to calculate the acceleration, the velocity and distance against the time. Take into consideration the change of gear ratio. Explain the numerical simulation procedure of the vehicle acceleration.  
*[Critères de performance en accélération et en reprise. Donnez la procédure de calcul des accélérations et des reprises du véhicule ? Comment prendre en compte les changements de rapport de boîte ? Décrivez comment en faire la simulation numérique ?]*
19. Introduce the concepts of specific fuel consumption, energy conversion efficiency for ICE and e-motors. Define the usual measures of consumption for a road vehicle. Derive the expression of fuel consumption for a road vehicle along a given travel. Discuss the influence of vehicle parameters such as mass,  $C_x$  and rolling resistance.  
*[Introduisez les notions de consommation, de consommation spécifique et de rendement des moteurs thermiques et électriques. Quelles sont les mesures normalisées et conventionnelles de consommation d'un véhicule ? Dérivez l'expression générale de la consommation d'un véhicule sur un parcours donné. Discutez l'influence des paramètres tels que la masse, le  $C_x$  ou la résistance au roulement].*
20. Derive the expression of the fuel consumption of a vehicle driving at constant speed. Discuss the influence of the selected gear ratio. *[Consommation d'un véhicule à vitesse constante. Établissez l'expression mathématique de la consommation sur un trajet à vitesse donnée Étudiez l'influence du rapport de boîte].*
21. Describe the way to calculate the energy consumption and emissions of road vehicles with a variable speed. Define the concept of driving cycles. Describe the most usual normalized driving cycles. *[Comment calcule-t-on la consommation et les émissions des véhicules sur un cycle de conduite à vitesse variable ? Donnez et comparez différents cycles de conduite.]*
22. Describe the experimental procedure to assess the vehicle performance, the normalized fuel consumption and emissions on a chassis dynamometer. *[Décrivez la procédure expérimentale sur un banc à rouleaux des performances, de la consommation et des émissions d'un véhicule ?]*

23. Determine and evaluate the steady state performance criteria of a battery electric vehicle: top speed, max grade-ability. [*Déterminez et évaluez les performances des véhicules électriques : vitesse maximale, pente maximale franchissable.*]
24. Determine and evaluate the acceleration performance criteria of a battery electric vehicle. [*Déterminez et évaluez les performances en accélération des véhicules électriques.*]
25. Estimate the energy consumption of an electric vehicle on a given driving cycle. Discuss the assumptions of the computation procedure using simulation. [*Estimez la consommation d'énergie électrique des véhicules électriques sur un cycle donné. Discutez les hypothèses de calcul et la procédure d'estimation de l'énergie par simulation.*]
26. Describe the preliminary sizing procedure of the principal components (powertrain and energy storage) of a battery electric vehicle for a set of given performance specifications. [*Donnez une procédure de prédimensionnement des composants principaux de la motorisation et du système de stockage d'un véhicule électrique en fonction de performances imposées ?*]
27. Define and describe the main performance properties and characteristics of the batteries and chemical energy storages? Give a static modelling of the coulometric capacity with respect to the current and of the state-of-charge. [*Définissez et décrivez les propriétés et caractéristiques des batteries et systèmes de stockage d'énergie et de puissance ? Décrivez une modélisation de la dépendance de la charge vis-à-vis du courant et de l'évolution de l'état de charge.*]
28. Describe the working principles of electrochemical batteries. Illustrate this one with lead acid batteries (VRLA) batteries. What are the guidelines for designers to maximize their performance? [*Décrivez le principe de fonctionnement des batteries électrochimiques. Quelles sont les voies de conception des batteries pour maximiser leur performance ? Illustrez votre propos avec le cas des batteries acide-plomb.*]
29. What are the major types of electrochemical batteries? For each of them give the major characteristics and their advantages / drawbacks. [*Quelles sont les catégories les plus importantes de batteries électrochimiques ? Donnez-en les caractéristiques principales. Comparez-les.*]
30. Describe the working principles of super capacitors. Give their major characteristics and their advantages / drawbacks. Compare the properties of batteries and supercaps. What are the expected applications? [*Décrivez le principe de fonctionnement des super*

*capacités. Quelles sont leurs propriétés. Comparez les propriétés des batteries et des supercondensateurs. Quelles sont les applications envisagées ?]*

31. Define and describe the concept of hybrid energy storages. Give their major characteristics and their advantages / drawbacks. Describe their sizing procedure and illustrate with an example? [*Décrivez et décrivez le concept de systèmes de stockage hybrides. Quelles sont les avantages et inconvénients de ces systèmes. Décrivez la procédure de dimensionnement et illustrez le sur un exemple.*]
32. Describe the working principles of fly wheels. What are the technologies used to create mechanical batteries? How can their design be optimized? [*Décrivez le principe de fonctionnement des volants d'inertie. Quelles sont les technologies utilisées pour créer des batteries mécaniques ? Comment optimiser leur design ?]*
33. Describe the main concepts underlying hybrid powertrains and show how these ones are in line with the main routes to reduce vehicle energy consumption: energy storage, braking energy recovery, improving the converter energy efficiency. [*Décrire les principaux concepts à la base des groupes motopropulseurs hybrides et montrer comment ceux-ci s'inscrivent dans les principales voies de réduction de la consommation d'énergie des véhicules : stockage de l'énergie, récupération de l'énergie de freinage, amélioration du rendement énergétique du convertisseur.*]
34. Define the concept of hybrid vehicle. Define the mild hybrid and full hybrid, of Start & Stop, Integrated Motor Assist, Charge Sustaining, Charge Depleting, and Plug-in hybrid. [*Définir le concept de véhicule hybride. Définir les notions de véhicules hybrides doux et complets, de stop start, d'Assistance Moteur, de véhicule hybride à charge entretenue, à déplétion de charge, avec recharge à la prise.*]
35. Define and compare the hybrid vehicle architectures: series, parallel, and complex layout. Define the zero-emission mode (ZEV) and downsizing concept. [*Définir et comparer les architectures hybrides série, parallèle et complexe. Illustrer ces définitions avec des exemples. Evoquer les notions de zéro émission (ZEV) et de downsizing du moteur à combustion interne.*]
36. Define the concept of mild hybrid. What are the possible configurations? What are the advantages and drawbacks of the concept? [*Définir le concept de véhicule hybride doux. Quelles sont les architectures possibles ? Quels sont les avantages inconvénients du concept ?]*

37. Describe the operating principle of a fuel cell. In particular consider the fuel cell H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>. [*Décrivez le principe de fonctionnement d'une pile à combustible, en particulier basez votre raisonnement sur le cas de la pile H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>.*]
38. Describe the implementation of the Fuel Cell in the Membrane Electrode Assembly of a fuel cell H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>, from a single cell to a stack. [*Décrivez la technologie mise en œuvre pour la réalisation d'une la pile H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> au sein de l'Assemblage Membrane Electrode, de l'assemblage d'une cellule élémentaire jusqu'à la formation d'un stack.*]
39. Describe the operation characteristics voltage current (U,I) of an elementary fuel cell. Define the thermodynamic efficiency, the operation losses, the faradic efficiency, the material efficiency, and the system efficiency. [*Donnez les caractéristiques tension courant (U,I) d'une pile à combustible élémentaire. Définir le rendement thermodynamique, les pertes opérationnelles, surtension d'activation, les pertes ohmiques, la polarisation de concentration, le rendement faradique, le rendement matière, le rendement système.*]
40. What are the different types of fuel cell technologies? For each of them give the major characteristics and their advantages / drawbacks. [*Quels sont les différentes technologies (types) de piles à combustible ? Décrivez leurs caractéristiques et donnez leurs avantages et inconvénients.*]
- ~~41. Series hybrid vehicles: give the main components. Describe the operation patterns and the two fundamental control strategies of series hybrid electric vehicles? [*Véhicules hybrides série : quels sont les différents composants. Décrivez et les différents modes de fonctionnement et les deux stratégies fondamentales du contrôle du fonctionnement des véhicules hybrides séries.*]~~
- ~~42. Series hybrid vehicles: describe the preliminary sizing procedure of the main powertrain components of series HEV. [*Véhicules hybrides série : procédure de pré dimensionnement des composants principaux des véhicules hybrides séries.*]~~
- ~~43. Parallel hybrid vehicles: describe the main components of parallel HEV. Define the main operation patterns and the two fundamental control strategies of parallel hybrid vehicles? [*Véhicules hybrides parallèle : quels sont les différents composants des véhicules hybrides parallèles. Décrivez les différents modes de fonctionnement et les deux stratégies fondamentales de contrôle du fonctionnement des véhicules hybrides parallèles.*]~~
- ~~44. Parallel hybrid vehicles: describe the preliminary sizing procedure of the main powertrain components of a parallel hybrid vehicle using an illustrative example.~~

~~*[Véhicules hybrides parallèles : décrivez la procédure de pré dimensionnement des composants principaux d'un véhicule hybride parallèle à l'aide d'un exemple.]*~~

~~45. Plug-in hybrid vehicles: describe the working principle as well as their raison d'être.~~

~~Describe the different concepts and operation principles of PHEV. *[Véhicules hybrides rechargeables à la prise (Plug-In Hybrid) : Décrivez le principe de fonctionnement et la raison d'être des PHEV. Décrivez les différents concepts et modes de fonctionnement des Plug in hybrid.]*~~

~~46. Describe two main energy management strategies and a sizing procedure of the battery and the major components of Plug-in HEV. *[Décrivez deux stratégies de contrôle et de gestion de l'énergie des PHEV et une procédure de dimensionnement de la batterie et des principaux composants de la chaîne de traction.]*~~